



#7  
10 Jan 02  
R. Talh

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 26 979.3

**Anmeldetag:** 14. Juni 1999

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Spannungszwischenkreis-Umrichter

**IPC:** H 02 M 1/12

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. Oktober 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurk

## Beschreibung

## Spannungszwischenkreis-Umrichter

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf einen Spannungszwischenkreis-Umrichter gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein derartiger Umrichter ist aus der DE-Zeitschrift "etz", Heft 20, 1998, Seiten 10 bis 12, bekannt. Dieser bekannte  
10 Spannungszwischenkreis-Umrichter hat in der Standardausrüstung einen 12-pulsigen Diodengleichrichter, deren Teildiodengleichrichter jeweils mit einer Sekundärwicklung eines Dreiwicklungstransformators verbunden sind. Gleichspannungs-  
seitig sind die Teildiodengleichrichter jeweils mit einem  
15 Kondensator eines Spannungszwischenkreises verknüpft, der zwei elektrisch in Reihe geschaltete Kondensatoren aufweist. Ein derartiger Eingangsstromrichter wird auch als Diode Front End (DFE) bezeichnet. Ein derartiges Diode Front End erfüllt  
in den meisten Fällen die Anforderungen bezüglich Netzlei-  
20 stungsfaktor und Oberschwingungsgehalt. Werden höhere Anforderungen bezüglich Netzurückwirkung gestellt, so steht ein 24-pulsiger Eingangs-Stromrichter zur Verfügung.

Aus der DE-Zeitschrift "engineering and automation", Heft  
25 1-2, 1998, Seiten 8 und 9, ist ein Spannungszwischenkreis-Umrichter bekannt, der als Eingangsstromrichter einen selbstgeführten Pulsstromrichter aufweist. Dieser ist wie der maschinenseitige Pulsstromrichter als Drei-Punkt-Pulsstromrichter ausgeführt. Als Spannungszwischenkreis sind zwei elek-  
30 trisch in Reihe geschaltete Kondensatoren vorgesehen. Diese Schaltungsoption des Eingangsstromrichters wird auch als Active Front End (AFE) bezeichnet. Mit einem Active Front End ist ein Vierquadrantenbetrieb (Antreiben und regeneratives Bremsen in beiden Drehrichtungen) möglich. Mittels dieses ak-  
35 tiven Eingangs-Stromrichters läßt sich nicht nur ein Leistungsfaktor von  $\cos \varphi = 1$  realisieren, sondern man kann zusätzlich im Rahmen der Leistungsreserven auch noch die Blind-

leistung anderer Verbraucher im Netz kompensieren. Wird das Active Front End mit einem Eingangsfilter ausgerüstet, ist darüber hinaus, ein fast Oberschwingungsfreier Betrieb am Netz möglich.

5

Der Nachteil eines Diode Front End ist dieser, daß kein Vier-quadrantenbetrieb ohne weiteren Aufwand möglich ist. Der Mehraufwand besteht darin, daß für den generatorischen Betrieb ein Brems-Chopper notwendig ist, mit dem die generatorische Energie in einem Bremswiderstand in Wärme umgesetzt wird. Durch die 12-Pulsigkeit bzw. 24-Pulsigkeit des Diode Front End werden die Oberschwingungsströme der 5., 7., 11. und 13. bzw. der 5., 7., 13., 23. und 25. Oberwelle ausgelöscht. Bei der 24-pulsigen Ausführungsform des Diode Front End verdoppelt sich der Aufwand eingangsseitig gegenüber der 12-pulsigen Ausführungsform des Diode Front End, wodurch nicht nur der Platzbedarf steigt.

Der Nachteil eines Active Front End ist dieser, daß entsprechend seiner Pulszahl die 5., 7., 11., 13., ... Oberwellen auftreten, deren Amplituden mittels eines optimierten Pulsmuster wenigstens minimiert werden können. Außerdem ist das Active Front End aufgrund der Anzahl und der Ausführungsform der Bauelemente aufwendiger als ein Diode Front End. Da das Active Front End vom Aufbau her dem maschinenseitigen selbstgeführten Pulsstromrichter entspricht, weist ein Spannungszwischenkreis-Umrichter mit Active Front End einen größeren Platzbedarf auf als ein Spannungszwischenkreis-Umrichter mit einem 12-pulsigen Diode Front End.

30

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen Spannungszwischenkreis-Umrichter anzugeben, dessen Eingangs-Stromrichter so ausgebildet ist, daß die auf der Netzseite auftretenden Oberschwingungen möglichst mit kleinem Aufwand niedrig gehalten werden.

35

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Dadurch, daß die Teilstromrichter des 12-pulsigen Eingangs-  
5 Stromrichters jeweils ein selbstgeführter Pulsstromrichter  
sind, werden die Vorteile eines Diode Front End mit denen ei-  
nes Active Front End kombiniert. Das heißt, auf der Netzseite  
des Spannungszwischenkreis-Umrichters werden die Oberschwin-  
gungsströme der 5., 7., 17. und 19. Oberwelle ausgelöscht,  
10 ohne daß die optimierten Pulsmuster der selbstgeführten Puls-  
stromrichter auf diese genannten Oberschwingungen optimiert  
sind. Da die beiden Teilstromrichter denselben Betriebszu-  
stand haben, sind deren Pulsmuster gleich. Dieses optimierte  
Pulsmuster kann nun dahingehend optimiert werden, daß die Am-  
15 plituden der Oberschwingungsströme der 11., 13., 25., ...  
Oberwelle minimiert werden.

Ein weiterer Vorteil dieses erfindungsgemäßen Eingangs-Strom-  
richters eines Spannungszwischenkreis-Umrichters macht sich  
20 bei sehr hohen Spannungen bemerkbar. Die Stromrichter für ge-  
normte Mittelspannungen weisen ab einem Spannungswert von 3,3  
kV Stromrichterventile mit einer Reihenschaltzahl Zwei und  
mehr auf. Da der erfindungsgemäße Eingangs-Stromrichter zwei  
gleiche selbstgeführte Pulsstromrichter aufweist, die elek-  
25 trisch in Reihe geschaltet sind, ist die Reihenschaltzahl der  
Teilstromrichter gleich bzw. um eins kleiner als die Reihen-  
schaltzahl des Maschinen-Stromrichters. Bei der genörmten  
Mittelspannung von 4,16 kV weist der Eingangs-Stromrichter  
eines Spannungszwischenkreis-Umrichters nach der Erfindung  
30 genauso viele Stromrichterventile auf wie ein Eingangs-Strom-  
richter in der Ausführungsform Activ Front End. Bei gleicher  
Reihenschaltzahl können als Stromrichterventile niedersper-  
rende Halbleiterschalter verwendet werden, die mit einer hö-  
heren Schaltfrequenz betrieben werden können oder eine höhere  
35 Stromausnutzung aufweisen. Bei einer um Eins geringeren Rei-  
henschaltzahl ist der Aufbau der Phasenmodule einfacher und  
platzsparender.

Vorteilhafte Ausführungsformen des Eingangs-Stromrichters sind den Unteransprüchen 2 bis 6 zu entnehmen.

5 Zur näheren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Eingangs-Stromrichters schematisch veranschaulicht ist.

- 10 FIG 1 zeigt ein Blockschaltbild eines gattungsgemäßen Spannungszwischenkreis-Umrichters in der Standardausführung, die
- FIG 2 zeigt ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Eingangs-Stromrichters eines Spannungszwischenkreis-Umrichters nach FIG 1 und die
- 15 FIG 3 - 5 zeigen jeweils ein Phasenmodul des Maschinen-Stromrichters des Spannungszwischenkreis-Umrichters mit der Reihenschaltzahl 1, 2 und 3.

Die FIG 1 zeigt ein Blockschaltbild eines gattungsgemäßen Spannungszwischenkreis-Umrichters in der Standardausführung mit einem 12-pulsigen Eingangs-Stromrichter 2. Die beiden

20 Teilstromrichter 4 und 6 dieses Eingangs-Stromrichters 2 sind jeweils ein 6-pulsiger Diodengleichrichter. Jeder Teilstromrichter 4 bzw. 6 ist gleichspannungsseitig mit einem Kondensator 8 bzw. 10 eines Spannungszwischenkreises 12 verknüpft.

25 Da diese beiden Kondensatoren 8 und 10 elektrisch in Reihe geschaltet sind, weist dieser Spannungszwischenkreis 12 drei Potentiale C, M und D auf. Außerdem weist dieser Spannungszwischenkreis-Umrichter einen Maschinen-Stromrichter 14 auf, an dessen wechselstromseitigen Ausgängen R, S, T eine Drehfeldmaschine 16 angeschlossen ist. Gleichspannungsseitig ist

30 dieser Maschinen-Stromrichter 14 mit den drei Potentialen C, M und D des Spannungszwischenkreises 12 elektrisch leitend verbunden. Als Stromrichterventile des Maschinen-Stromrichters 14 sind High-Voltage-Insulated-Gate-Bipolar-Transistor

35 (HV-IGBT) vorgesehen. Der Maschinen-Stromrichter 14 ist in einer Dreipunkt-Schaltungstechnik ausgeführt. Die Teilstromrichter 4 und 6 des Eingangs-Stromrichters 2 sind wechsel-

stromseitig jeweils mit einer Sekundärwicklung 18 und 20 eines Dreiwicklungstransformators 22 elektrisch leitend verbunden. Primärseitig ist dieser Dreiwicklungstransformator 22 mit einem dreiphasigen Netz 24 verknüpft.

5

In der FIG 2 ist ein Blockschaltbild eines Eingangs-Stromrichters 2 in einer erfindungsgemäßen vorteilhaften Ausführungsform dargestellt. Dieser Eingangs-Stromrichter 2 weist als Teilstromrichter 4 bzw. 6 einen selbstgeführten Pulsstromrichter 4<sub>1</sub> bzw. 6<sub>1</sub> auf. Diese beiden Pulsstromrichter 4<sub>1</sub> und 6<sub>1</sub> sind ebenso wie der maschinenseitige Drei-Punkt-Pulsstromrichter 14 in Dreipunkt-Schaltungstechnik ausgeführt, wobei als Stromrichterventile ebenfalls HV-IGBT verwendet werden. Wechselspannungsseitig ist der selbstgeführte Pulsstromrichter 4<sub>1</sub> mit seinen Anschlüssen U1, V1, W1 mit der Sekundärwicklung 18 des Dreiwicklungstransformators 22 verknüpft. Der selbstgeführte Pulsstromrichter 6<sub>1</sub> ist wechselstromseitig mit seinen Anschlüssen U2, V2, W2 mit der Sekundärwicklung 20 des Dreiwicklungstransformators 22 verbunden.

20

In dieser Darstellung gemäß FIG 2 ist auch noch der Spannungszwischenkreis 12 näher dargestellt. Die beiden Kondensatoren 8 und 10 dieses Spannungszwischenkreises 12 sind jeweils in drei Teilkondensatoren 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub> und 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub> unterteilt. Dabei sind die beiden Teilkondensatoren 8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub> bzw. 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub> elektrisch in Reihe geschaltet und diese Reihenschaltung ist dann elektrisch parallel zum Kondensator 8<sub>1</sub> bzw. 10<sub>1</sub> geschaltet. Der Verknüpfungspunkt der beiden in Reihe geschalteten Kondensatoren 8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub> bzw. 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub> bilden ein Mittelspannungspotential M1 bzw. M2 für den Drei-Punkt-Pulsstromrichter 4<sub>1</sub> bzw. 6<sub>1</sub>. Diese beiden Reihenschaltungen der Teilkondensatoren 8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub> und 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub> sind außerdem elektrisch in Reihe geschaltet. Der Verknüpfungspunkt dieser beiden Reihenschaltungen ist mit dem mittleren Spannungspotential M des Spannungszwischenkreises 12 verbunden. Da die Kondensatoren 8 und 10 des Spannungszwischenkreises 12 jeweils auf mehrere Teilkondensatoren 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub> und 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub> aufgeteilt sind,

25

30

35

können die Teilkondensatoren  $8_1$  und  $10_1$  räumlich dem Maschinen-Stromrichter 14 und die Teilkondensatoren  $8_2$ ,  $8_3$  und  $10_2$ ,  $10_3$  räumlich den selbstgeführten Pulsstromrichters  $4_1$ ,  $6_1$  des Eingangs-Stromrichters 2 zugeordnet werden.

5

Die FIG 3 zeigt ein Phasenmodul des Maschinen-Stromrichters 14, das in der Dreipunkt-Schaltungstechnik vier Stromrichter-ventile T1, T2, T3 und T4 aufweist. Jedes Stromrichterventil T1 bis T4 weist nur einen Halbleiterschalter auf, insbesondere einen HV-IGBT. Deshalb ist die Reihenschaltzahl in dieser Ausführungsform Eins. Dieses Phasenmodul kann zwischen seinen Gleichspannungs-Potentialen C und D eine Gleichspannung  $U_{ZK}$  von maximal 3,8 kV aufnehmen. Diese Gleichspannung  $U_{ZK}$  wird vom Eingangs-Stromrichter 2 erzeugt. Da die beiden Teilstromrichter  $4_1$  und  $6_1$  identisch sind und gleichspannungsseitig elektrisch in Reihe geschaltet sind, erzeugt jeder Teilstromrichter  $4_1$  und  $6_1$  die halbe Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  in Höhe von 1,9 kV. Da jedoch das Phasenmodul die doppelte Spannungsfestigkeit aufweist, können im Vergleich zum Phasenmodul des maschinenseitigen Drei-Punkt-Pulsstromrichters 14 niedersperrende Halbleiterschalter verwendet werden. Diese niedersperrenden HV-IGBT können mit einer höheren Schaltfrequenz oder höheren Stromausnutzung betrieben werden.

25

Die FIG 4 zeigt ein Phasenmodul, dessen Stromrichterventile T1 bzw. T4 jeweils zwei Halbleiterschalter, insbesondere HV-IGBT, aufweisen. Die Reihenschaltzahl ist hier Zwei. Zwischen den Gleichspannungs-Potentialen C und D kann eine maximale Gleichspannung  $U_{ZK}$  von 6,8 kV auftreten. Bei einem Spannungszwischenkreis-Umrichter gemäß FIG 1 mit einem erfindungsgemäßen Eingangs-Stromrichters 2 sind die Phasenmodule des maschinenseitigen Drei-Punkt-Pulsstromrichters 14 gemäß FIG 4 und die Phasenmodule der Teilstromrichter  $4_1$  und  $6_1$  des Eingangs-Stromrichters 2 gemäß FIG 3 ausgebildet.

35

In der FIG 5 ist ein Phasenmodul dargestellt, dessen Stromrichter-Ventile T1 bis T4 jeweils drei Halbleiterschalter,

insbesondere HV-IGBT, aufweisen. Die Reihenschaltzahl dieser Stromrichterventile ist Drei. Mit diesem Phasenmodul mit der Reihenschaltzahl Drei kann eine maximale Gleichspannung  $U_{ZK}$  von 10 kV zwischen den Potentialen C und D abfallen bzw. anstehen. Bei einem Spannungszwischenkreis-Umrichter für eine

5 genormte Mittelspannung von 6 kV sind die Phasenmodule des Maschinen-Stromrichters 14 gemäß der FIG 5 und die Phasenmodule der Teilstromrichter 4<sub>1</sub> und 6<sub>1</sub> des Eingangs-Stromrichters 2 gemäß FIG 4 ausgebildet.

10

Somit ist die Reihenschaltzahl der Teilstromrichter 4<sub>1</sub> und 6<sub>1</sub> gegenüber der Reihenschaltzahl des Maschinen-Stromrichters 14 ab einer genormten Mittelspannung von 3,3 kV um Eins kleiner. Dadurch sind die Phasenmodule der Teilstromrichter 4<sub>1</sub> und 6<sub>1</sub>

15 gegenüber den Phasenmodulen des Maschinen-Stromrichters 14 aufwandsärmer. Bei einem Spannungszwischenkreis-Umrichter für die Mittelspannung 4,16 kV ist die Anzahl der Halbleiterschalter der beiden Teilstromrichter 4<sub>1</sub> und 6<sub>1</sub> des Eingangs-Stromrichters 2 gleich der Anzahl der Halbleiterschalter des

20 Eingangs-Stromrichters 2 in der Ausführungsform als Active Front End. Das heißt, ohne die Anzahl der Halbleiterschalter zu erhöhen, werden Oberschwingungen der 5., 7., 17. und 19. Oberwelle allein durch deren Verschaltung eliminiert.



## Patentansprüche

1. Spannungszwischenkreis-Umrichter mit einem zwei Teilstrom-  
richter (4,6) aufweisenden 12-pulsigen Eingangs-Stromrichter  
5 (2), einem zwei elektrisch in Reihe geschalteten Kondensato-  
ren (8,10) aufweisenden Spannungszwischenkreis (12) und einem  
maschinenseitigen Drei-Punkt-Pulsstromrichter (14), wobei die  
beiden Teilstromrichter (4,6) des Eingangs-Stromrichters (12)  
gleichspannungsseitig jeweils mit einem Kondensator (8,10)  
10 des Spannungszwischenkreises (12) elektrisch leitend verbun-  
den sind,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Teilstromrichter (4,6) des Eingangs-Stromrichters (12)  
jeweils ein selbstgeführter Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>, 6<sub>1</sub>) sind.
- 15 2. Spannungszwischenkreis-Umrichter nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die selbstgeführten Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>, 6<sub>1</sub>) jeweils  
Drei-Punkt-Pulsstromrichter sind.
- 20 3. Spannungszwischenkreis-Umrichter nach Anspruch 1 und 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß jeder Kondensator (8,10) des Spannungszwischenkreises  
(12) derart aufgeteilt ist, daß ein Kondensator (8<sub>1</sub>, 10<sub>1</sub>) dem  
25 maschinenseitigen Drei-Punkt-Pulsstromrichter (14) und zwei  
Kondensatoren (8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub>; 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>) einem Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>, 6<sub>1</sub>)  
des Eingangs-Stromrichters (12) zugeordnet sind.
4. Spannungszwischenkreis-Umrichter nach einem der vorgenann-  
30 ten Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Reihenschaltzahl der Stromrichterventile  
(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>) der selbstgeführten Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>, 6<sub>1</sub>)  
des Eingangs-Stromrichters (12) gleich der Reihenschaltzahl  
35 der Stromrichterventile (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>) des maschinenseitigen  
Drei-Punkt-Pulsstromrichters (14) ist.

5. Spannungszwischenkreis-Umrichter nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Reihenschaltzahl der Stromrichterventile

- 5 (T1,T2,T3,T4) der selbstgeführten Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>,6<sub>1</sub>) des Eingangs-Stromrichters (12) um Eins kleiner ist als die Reihenschaltzahl der Stromrichterventile (T1,T2,T3,T4) des maschinenseitigen Drei-Punkt-Pulsstromrichters (14) ist.

- 10 6. Spannungszwischenkreis-Umrichter nach einem der vorgenannten Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß als Stromrichterventile (T1,T2,T2,T4) der selbstgeführten Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>,6<sub>1</sub>) des Eingangs-Stromrichters (12) und

- 15 des maschinenseitigen Drei-Punkt-Pulsstromrichters (14) High-voltage-Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren vorgesehen sind.

## Zusammenfassung

## Spannungszwischenkreis-Umrichter

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf einen Spannungszwischenkreis-Umrichter mit einem 12-pulsigen Eingangs-Stromrichter (2), einem Spannungszwischenkreis (12) und einem Maschinen-Stromrichter (14) in Dreipunkt-Schaltungstechnik. Erfindungsgemäß sind die beiden Teilstromrichter (4,6) des Eingangs-Strom-
- 10 richters (2) jeweils selbstgeführte Pulsstromrichter (4<sub>1</sub>, 6<sub>1</sub>). Somit erhält man einen Eingangs-Stromrichter (2), der die Vorteile eines Diode Front End und eines Active Front End miteinander verbindet.

15 FIG 2

1/4

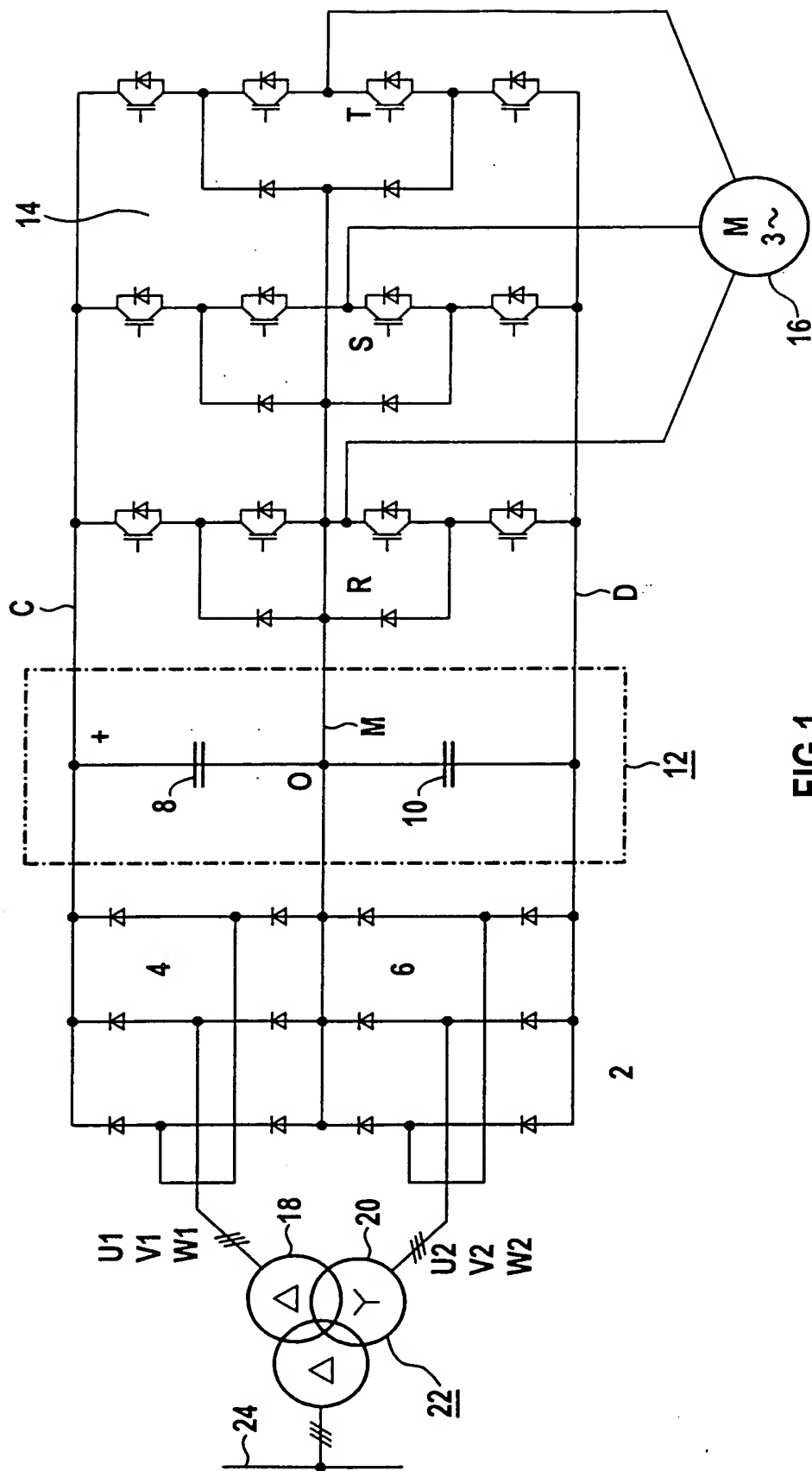


FIG 1

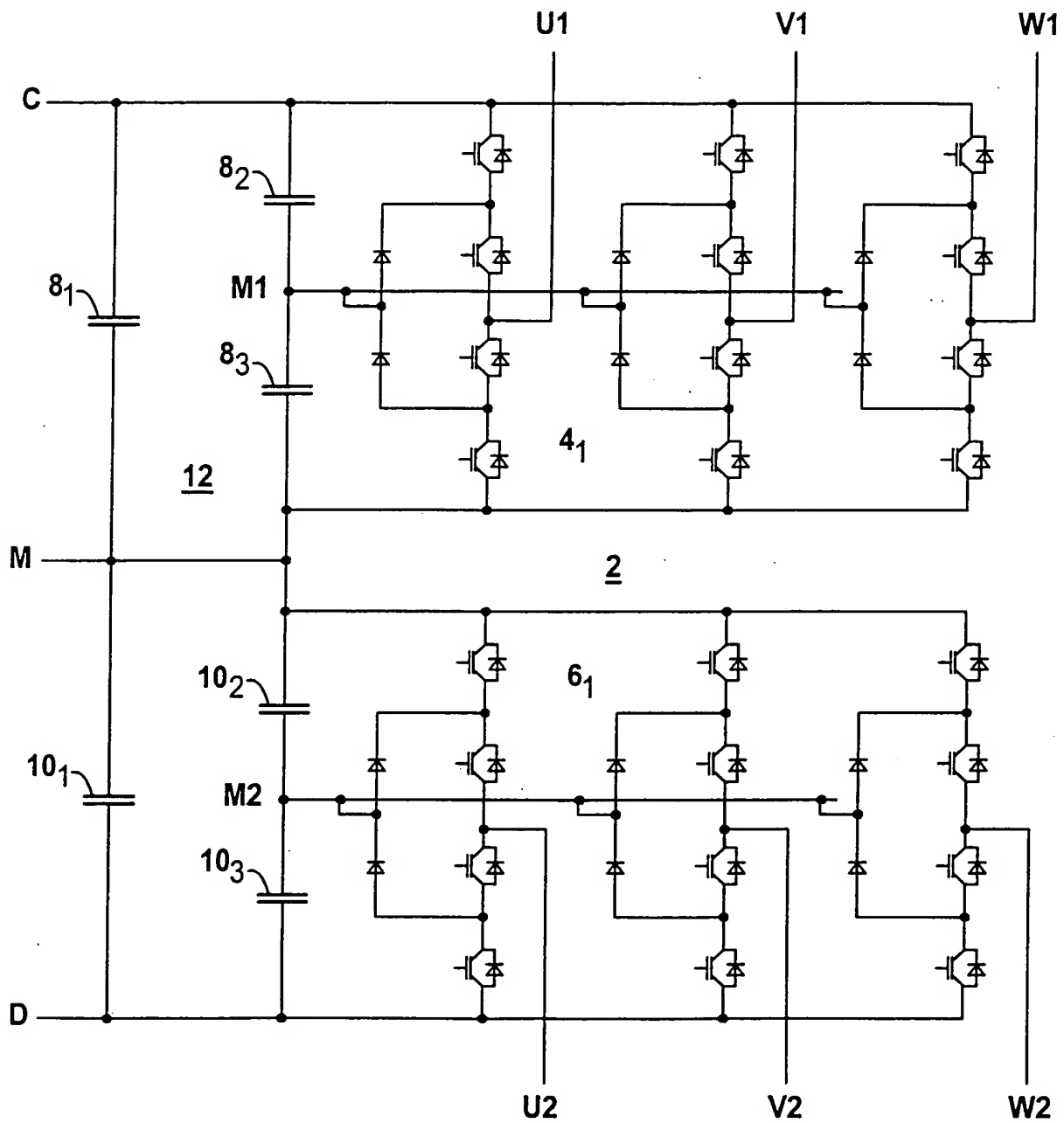


FIG 2

3/4

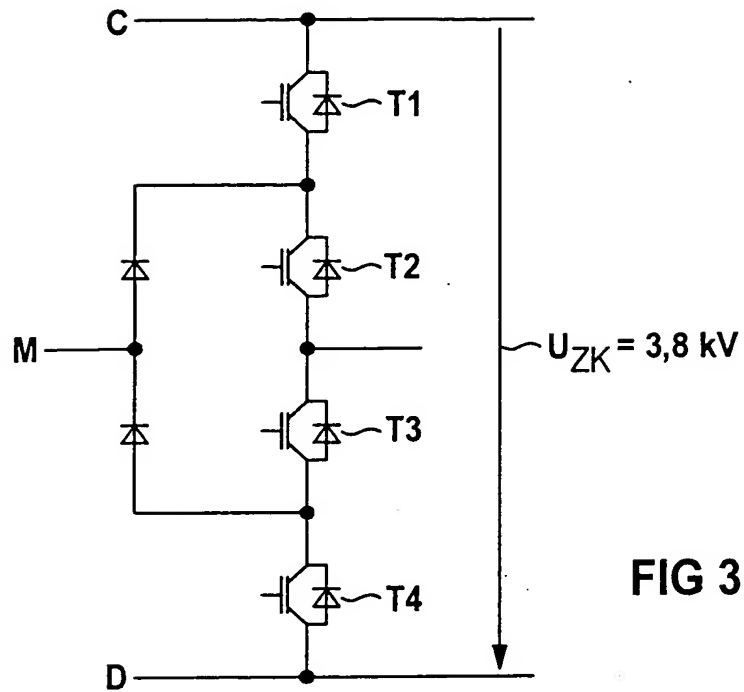


FIG 3

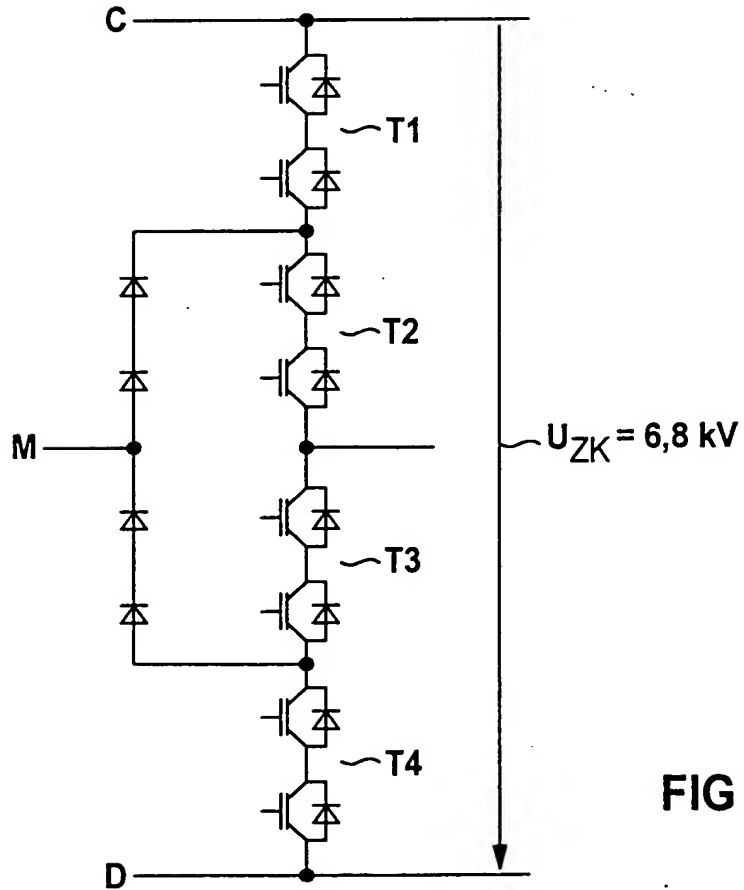


FIG 4

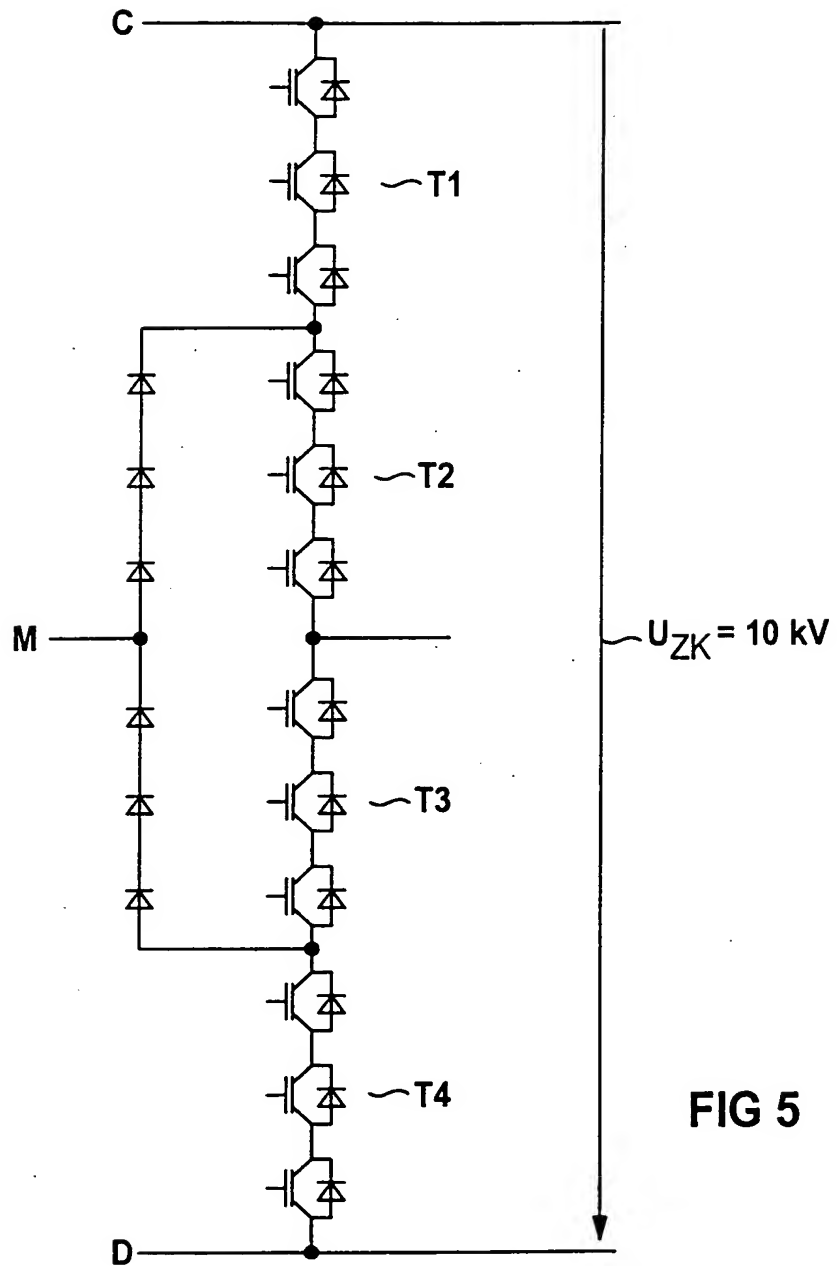


FIG 5